

Pengesan Lalu Lintas dengan Kaedah Pemerosesan Imej

Riza Atiq bin O.K. Rahmat, Kasmiran bin Jumari,
Azmi Hassan & Hassan Basri

ABSTRAK

Kebanyakan pengesan lalu lintas yang ada sekarang menggunakan gelung induksi yang ditanam di bawah permukaan jalan raya. Semenjak akhir-akhir ini penggunaan kamera dan pemerosesan imej oleh komputer khas berkuasa tinggi telah mula digunakan untuk memantau lalu lintas. Kajian ini adalah untuk membangunkan pengesan lalu lintas yang cekap dengan kaedah pemerosesan imej oleh komputer peribadi. Imej lalu lintas diperolehi dengan menggunakan kamera analog dan didigitkan dengan menggunakan 'video blaster'. Empat algoritma telah dibangunkan, iaitu algoritma untuk mengira isi padu kenderaan, algoritma kenderaan, algoritma mendapatkan kelajuan kenderaan dan mengesan kejadian lalu lintas. Keempat-empat algoritma didapati cepat sehingga sebuah komputer peribadi berkemampuan untuk mendapatkan data dari banyak lorong di jalan raya secara berasingan dalam masa serentak dengan ketepatan yang tinggi pada waktu siang atau malam.

Kata kunci: Pengiraan lalu lintas, Kelajuan kenderaan, Pemerosesan imej

ABSTRACT

Most traffic detectors in service today work based on inductive loops buried under the road surface. Recently cameras and image processing with high-speed computers were beginning to be adopted for traffic surveillance system. This study was conducted to develop efficient traffic detector using image-processing with a personal computer. Traffic images were captured using ordinary analogue video camera and digitised using a video blaster. Four algorithms were developed i.e. algorithm for traffic counting, algorithm for vehicle classification, algorithm to determine the speed of the counted vehicles and algorithm for incident detection. The four algorithms were found to be sufficiently efficient to be executed by a personal computer to capture multiple road lane traffic data simultaneously with high accuracy both during daytime and during night.

Key words: Traffic counting, vehicle speed, Image processing

PENDAHULUAN

Objektif kajian ini ialah untuk membangunkan sistem pengesan lalu lintas dengan menggunakan kaedah pemerosesan imej dengan menggunakan alat-

alat yang mudah diperolehi dan berharga setanding dengan sistem yang berasaskan gelung induksi. Walaupun alat pengesan lalu lintas yang menggunakan pemerosesan imej telah ada di pasaran tetapi ia menggunakan alat-alat khas yang berharga mahal berbanding sistem yang menggunakan gelung induksi. Ini menyebabkan gelung induksi masih digunakan dengan sangat meluas walaupun pemasangan dan penyelenggaraannya melibatkan pengorekan permukaan jalan raya yang lazimnya menganggu pengaliran lalu lintas.

Sistem pengesan lalu lintas yang dibangunkan ini terdiri daripada empat juzuk iaitu, pengiraan isipadu lalulintas, pengelasan kenderaan, mendapatkan kelajuan kenderaan, mengesan kejadian.

Kajian dalam bidang pengesan lalu lintas dengan menggunakan pemeroses imej telah dimulakan pada tahun 1973 oleh sekumpulan penyelidik di Universiti Tokyo (Onoe 1973). Oleh kerana kelajuan memproses komputer pada masa itu sangat perlahan, kerja-kerja memeroses hanya dilakukan dari gambar yang telah dirakamkan pada kadar satu kerangka sesaat.

Memandangkan memproses imej memerlukan masa agak panjang di samping harganya yang mahal, gelung induksi masih digunakan dengan meluas sehingga hari ini sama ada dalam kawalan ataupun dalam sistem pengawasan lalu lintas. Walaupun demikian, sebuah syarikat Belgium, Devlonic Control NV, bersama Universiti Louvain, Belgium, telah memulakan penyelidikan dalam sistem yang dipanggil CCATS (Camera and Computer Aided Traffic Sensor) pada tahun 1982 (Cypers et al. 1990) untuk digunakan dalam kejadian lalu lintas sebenar.

Tujuan asal penyelidikan ini ialah menggunakan kaedah pemerosesan imej sebagai pengesan lalu lintas sebagaimana fungsi gelung induksi. Selepas beberapa percubaan akhirnya pada tahun 1987 satu sistem pengesan kenderaan berbaris gilir telah berjaya dipasang di pintu keluar terowong Schuman II di Brussels. Berdasarkan pengalaman ini, pada tahun 1988 Devlonic mula memasarkan CCATS secara komersil.

Kebanyakan sistem CCATS ini dipasang untuk mengesan kenderaan berbaris gilir. Maklumat ini digunakan untuk memberi amaran kepada pemandu kenderaan supaya berhati-hati atau digunakan untuk kajian-kajian lalu lintas. Di samping itu unit-unit mudah alih digunakan untuk mendapatkan data lalu lintas dalam masa yang pendek.

KAEDAH MENGESAN LALU LINTAS

Terdapat tiga kaedah yang biasa digunakan (Dickinson 1984):

Pembezaan kerangka latar belakang Kaedah ini mengambil imej jalan raya tanpa kenderaan. Bagi mengesan kehadiran kenderaan, imej ini ditolakkan dari imej yang ada kenderaan. Masalah kaedah ini lebih kepada mendapatkan imej latar belakang tanpa kenderaan pada waktu-waktu puncak setiap masa bagi menangani masalah perubahan cahaya matahari yang sentiasa berlaku.

Perbezaan antara kerangka Dalam kaedah ini kerangka latar belakang ditolakkan dari kerangka imej yang akan datang dan kerangka yang akan datang itu akan menjadi kerangka latar belakang kepada kerangka yang

berikutnya. Hasilnya ialah bahagian hujung depan kenderaan yang sebelumnya adalah permukaan jalan raya dan bahagian hujung belakang kenderaan yang tadinya imej bahagian belakang kenderaan tetapi sekarang imej jalan raya. Masalah utama dalam kaedah ini ialah memastikan bahagian satu-satu hujung belakang dan hujung depan adalah kepunyaan satu kenderaan.

Peruasan dan pengelasan Dalam kaedah ini imej dibahagi-bahagikan kepada ruas-ruas. Hanya ruas-ruas yang perlu diperhatikan sahaja diproses seperti ruas yang meliputi permukaan jalan raya di kawasan tertentu, manakala bahagian tepi jalan diabaikan. Kemudian ruas-ruas ini dikelaskan kepada keadaan lalu lintas semasa.

MASALAH PRAKTIK

Masalah-masalah praktik memproses imej yang biasanya memerlukan masa pemerosesan yang panjang telah menyebabkan ia belum meluas digunakan dalam kawalan lalu lintas. Walaupun demikian dengan menggunakan komputer yang mempunyai kelajuan lebih tinggi, hari ini sistem pemantauan lalu lintas sudah mula menggunakan pemerosesan imej. Antara masalah utama dalam pemerosesan imej

Data yang banyak Imej digital terdiri dari piksel-piksel. Bagi imej aras kelabu berukuran 640 x 480, ia terdiri dari 307,200 piksel. Bagi gambar warna, ia akan menjadi tiga kali ganda, iaitu untuk merah, hijau dan biru. Jika setiap piksel mengandungi 256 aras kelabu yang membawa makna setiap piksel memerlukan 8 bit data, maka satu kerangka imej kelabu berukuran 640 x 480 piksel akan memerlukan ruang sebanyak 300 Kbyte. Jika imej video didigitkan pada kadar 25 kerangka/saat, maka dalam setiap saat 7.5 Mbyte data akan mengalir dan perlu diproses.

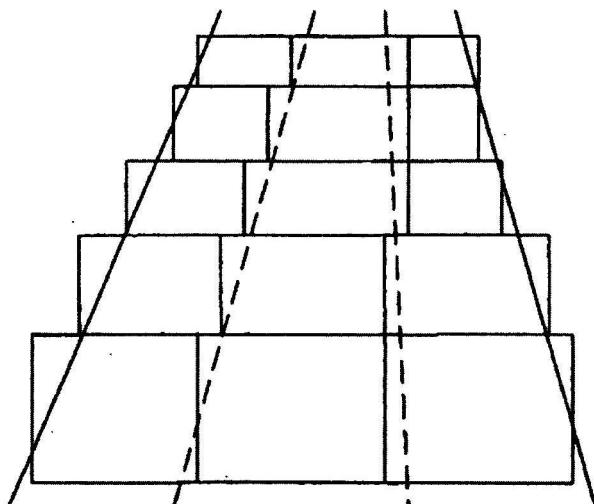
Penyelarasian Automatik (Automatic Gain Control-AGC) Masalah ini wujud dari reka bentuk kamera video. Biasanya kemera mempunyai AGC untuk membolehkannya mengambil imej dengan baik dalam semua keadaan pencahayaan. Di samping itu AGC dapat mengelakkan derai cahaya kamera dari rosak apabila terdedah kepada cahaya sangat terang. Walau bagaimanapun kebaikan AGC ini telah menimbulkan masalah apabila cahaya matahari memantul terus kepada kamera dari kaca kenderaan yang menyebabkan objek-objek lain menjadi gelap. Perkara ini samalah seperti apabila kita melihat objek yang sangat terang, secara otomatis lubang anak mata akan mengecil supaya objek terang itu dapat dilihat dengan mata tidak silau. Akibatnya, objek-objek lain tidak kelihatan dengan jelas atau tidak kelihatan langsung.

MENGESAN KEJADIAN LALU LINTAS SEDIA ADA

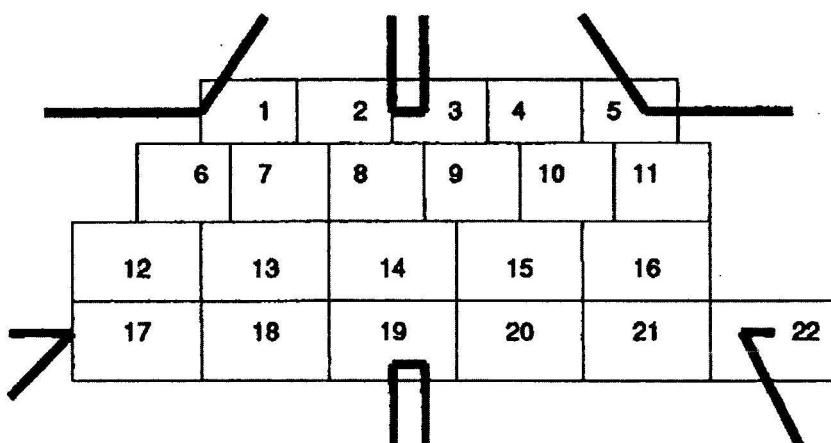
Sesuatu kejadian seperti kecelakaan jalan raya atau kenderaan rosak boleh menyebabkan pengaliran lalu lintas terganggu. Bahkan ia boleh menyebabkan kecelakaan kepada kenderaan-kenderaan lain. Oleh itu sesuatu kejadian perlu dikesan dengan cepat sebelum ia menimbulkan kejadian-kejadian lain pula.

Bagi tujuan mengesan kejadian di lebuh raya, kamera dan pemerosesai imej telah digunakan di negara-negara maju. Satu dari algoritma yang telal digunakan ialah yang diberi nama IMPACT (Image Processing for Automatic Computer Traffic Surveillance). Algoritma ini menbahagi-bahagikan imej jalan raya kepada sel-sel. Sel-sel ini berukuran selebar lorong jalan raya dan sepanjang kereta atau lebih kurang 3.7×4.7 meter di atas jalan raya seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1. Apabila satu-satu kerangka diperoleh setiap sel akan dianalisis sama ada terdapat kenderaan bergerak, kenderaan berhenti atau tiada kenderaan (Hoosse 1992).

Kemudian algoritma ini diuji untuk mengesan kejadian di jalan raya bandar, terutama di persimpangan (Hoosse et al. 1992). Kaedahnya masih sama dengan IMPACT yang asal tetapi lebih banyak sel digunakan yang ditunjukkan dalam Rajah 2.



RAJAH 1. Sel-sel pada imej jalan raya dalam kaedah IMPACT

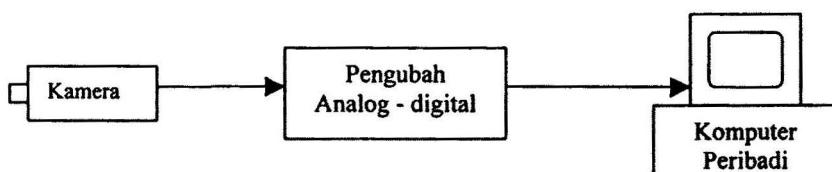


RAJAH 2. Sel-sel imej persimpangan mengikut kaedah IMPACT

PERALATAN

Objektif utama penyelidikan ini ialah membangunkan sistem pengesahan lalu lintas dengan menggunakan pemerosesan imej yang berharga setara dengan sistem yang berasaskan gelung induksi. Oleh itu peralatan yang digunakan adalah mudah diperolehi seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3. Kamera yang digunakan ialah kemera video analog biasa yang berfungsi untuk mendapatkan imej video lalu lintas. Imej ini kemudian dihantar kepada pengubah imej analog-digital yang akan menangkap dan menukar imej video analog kepada imej digital pada kadar 25 kerangka sesaat. Kadar penangkapan imej ini boleh diubah-ubah daripada satu kerangka sesaat sehingga 33 kerangka sesaat. Pengubahan Analog-digital yang digunakan ialah Video Blaster yang mudah didapati di pasaran.

Imej yang telah ditangkap dan didigitkan akan dihantar kepada komputer dan ditayangkan pada monitor dalam format Device Independent Bitmap (DIB). Dalam kajian ini komputer yang digunakan ialah komputer Pentium II 400, 128MB RAM dan sistem operasi Windows98.

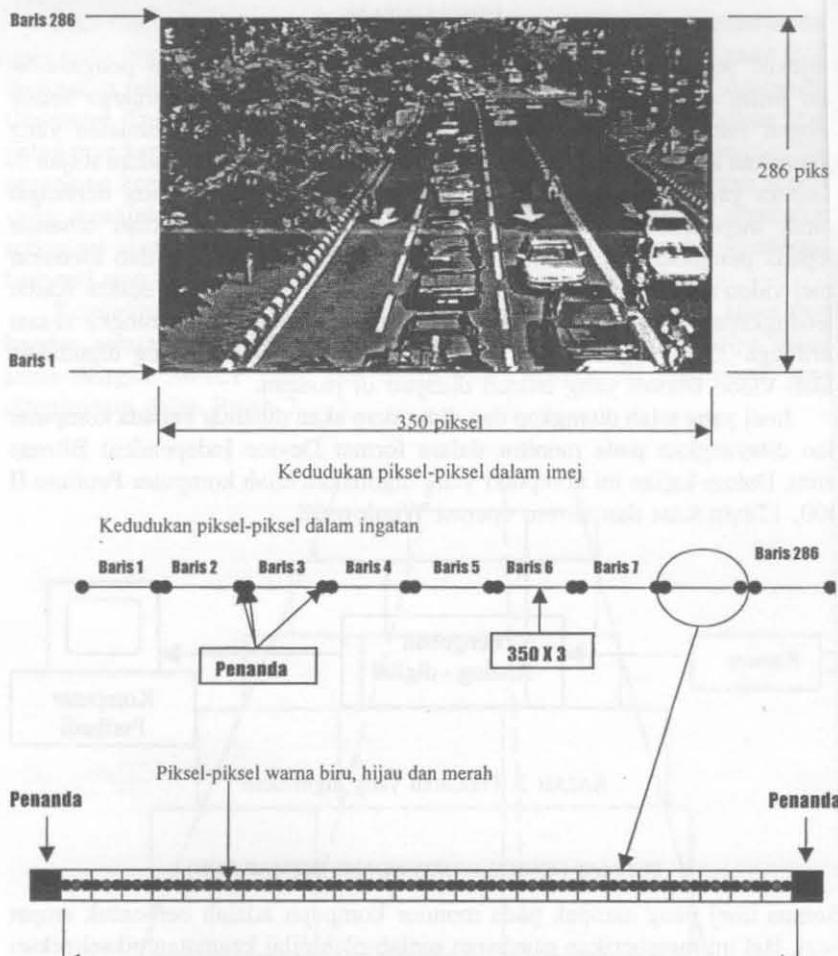


RAJAH 3. Peralatan yang digunakan

FORMAT DEVICE INDEPENDENT BITMAP (DIB)

Semua imej yang nampak pada monitor komputer adalah berbentuk empat segi. Hal ini memberikan gambaran seolah-olah nilai keamatian piksel-piksel yang membentuk imej itu berbentuk tata susunan dua dimensi. Dalam format DIB, imej tersebut dimuatkan dalam ingatan komputer berbentuk tata susunan satu dimensi yang panjang. Susunan piksel-piksel ini pula walaupun disebut RGB (merah, hijau, biru) tetapi kedudukan sebenar dalam ingatan komputer ialah BGR (biru, hijau, merah). Di samping itu jika imej dalam Microsoft Windows bermula dari sudut kiri bahagian atas monitor, tata susunan dalam format DIB bermula dari sudut kiri bahagian bawah monitor komputer (MSDN 1998).

Bagi Video Blaster yang digunakan dalam kajian ini, imej video yang dipaparkan pada monitor komputer berukuran 350 x 286 piksel. Walau bagaimanapun jumlah piksel sebenarnya adalah tiga kali ganda lebih besar disebabkan wujudnya piksel-piksel bagi warna biru, hijau dan merah. Di samping itu kewujudan penanda-penanda hujung menyebabkan saiz tata susunan bagi memuatkan satu kerangka imej ialah $(350 \times 3 + 2) 286 = 300,872$. Perkara ini ditunjukkan dalam Rajah 4. Oleh itu apabila hendak menentukan piksel-piksel yang akan diperhatikan untuk mengesan kenderaan di atas jalan raya, perkara ini perlu diambil perhatian.

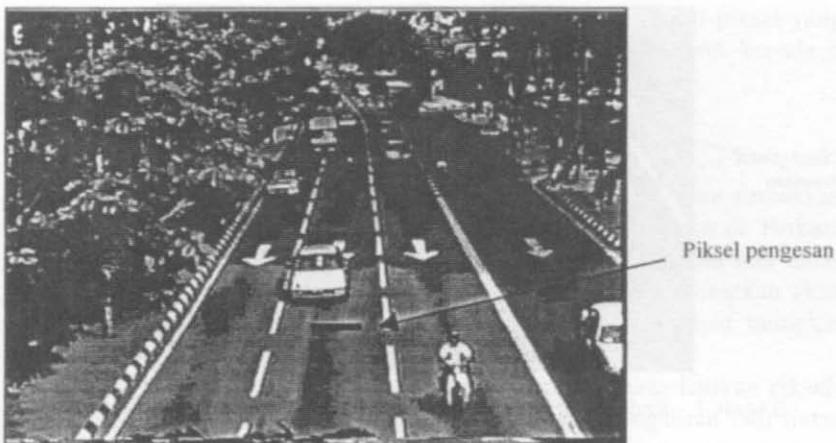


RAJAH 4. Format device independent bitmap

Kaedah Pengiraan ISI PADU

Pengiraan isi padu lalu lintas dalam kajian ini dilakukan dengan memerhatikan perubahan nilai beberapa piksel-piksel di pertengahan sesebuah lorong seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5. Ini membolehkan jumlah data yang diproses hanya sedikit sahaja. Nilai sesuatu piksel akan berubah-ubah daripada 0 yang menggambarkan hitam dan 225 yang menggambarkan putih. Jika sesuatu objek itu berwarna hijau tulen, piksel warna biru dan merah akan bernilai 0. Dalam kajian ini nilai piksel bagi ketiga-tiga warna telah diperhatikan apabila kenderaan-kenderaan melaluiinya.

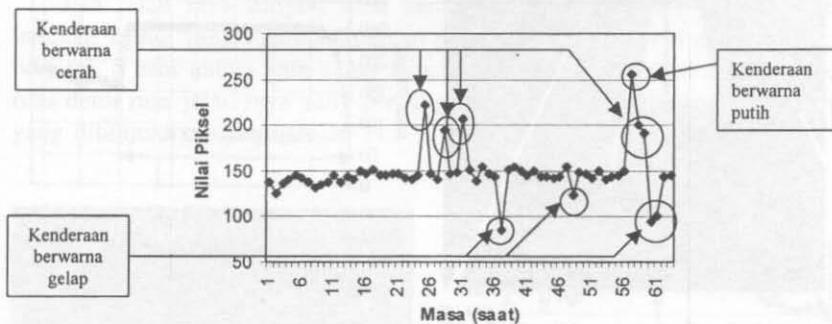
Contoh keamatian satu piksel apabila dilalui oleh kenderaan adalah ditunjukkan dalam Rajah 6. Apabila kenderaan berwarna cerah melaluiinya, nilai piksel akan bertambah dengan ketara. Sebaliknya apabila kenderaan berwarna gelap melaluiinya nilai piksel berkurang dengan ketara. Perubahan nilai piksel seperti ini didapati dari kajian ini melebihi 10%. Perubahan-perubahan yang lebih kecil dari 10% pula didapati disebabkan oleh perubahan-



RAJAH 5. Kedudukan piksel-piksel pengesan kenderaan

perubahan cahaya, bayang atau hingar. Oleh itu dalam kajian ini perubahan yang melebihi 10% sama ada berkurang atau lebih sahaja yang dikira sebagai satu kenderaan. Sebagai bahan kajian piksel warna biru, hijau dan merah telah digunakan secara berpasangan dan dibandingkan dengan kiraan insani adalah betul dan tepat.

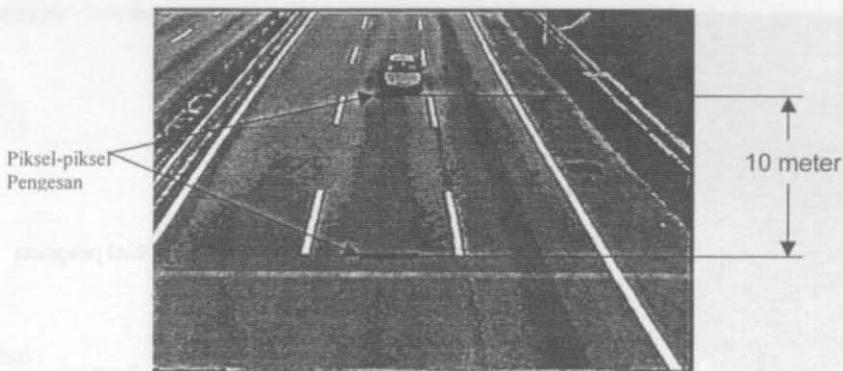
Semasa kajian dilakukan, kadar tangkapan imej yang paling tinggi ialah 10 kerangka sesaat. Pemerosesan imej bagi setiap kerangka telah melambatkan kadar tangkapan.



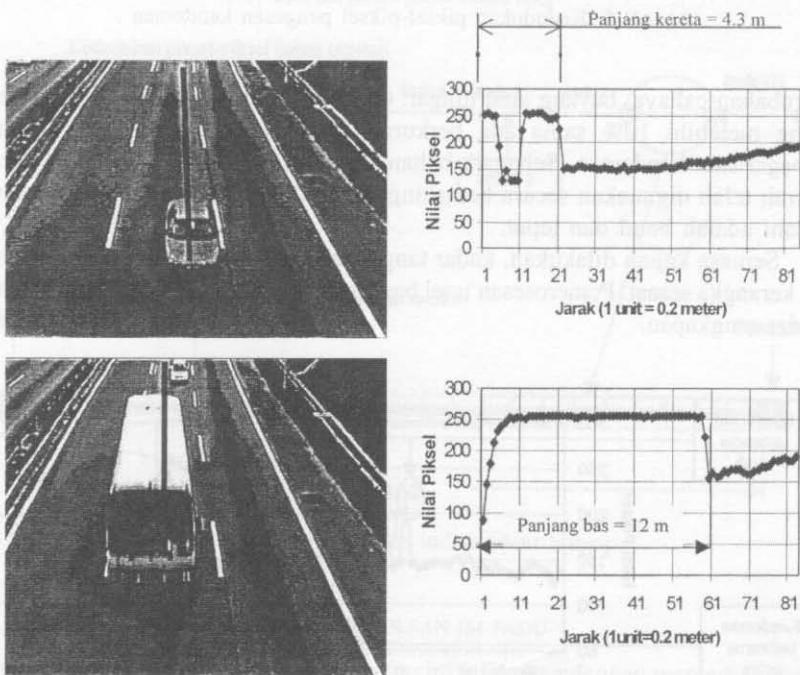
RAJAH 6. Nilai piksel apabila dilalui oleh kenderaan

KAEDAH PENGKELASAN DAN KELAJUAN

Kaedah pengkelasan dan mendapatkan kelajuan dilakukan dengan serentak. Dua pengesan diletakkan pada setiap lorong yang jarak antara keduanya ialah 10 meter. Kedudukan kedua-dua pengesan adalah ditunjukkan dalam Rajah 7. Masa yang diambil untuk satu-satu kenderaan bergerak dari pengesan pertama ke pengesan kedua diambil untuk mendapatkan kelajuan. Dalam masa yang sama panjang kenderaan diukur dengan memerhatikan nilai piksel-piksel di sepanjang garisan yang selari dengan arah pergerakan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 8.



RAJAH 7. Kedudukan pengesan untuk mendapatkan kelas dan kelajuan



RAJAH 8a. Kedudukan piksel-piksel yang diperhatikan

RAJAH 8b. Nilai piksel-piksel yang diperhatikan

Dalam kajian ini tiga kelas kenderaan telah digunakan. Kenderaan ringan ditakrif sebagai kenderaan yang panjangnya kurang dari 6 meter. Kenderaan sederhana pula ditakrif sebagai kenderaan yang panjangnya di antara 6 dan 10 meter manakala kenderaan berat adalah yang panjangnya melebihi 10 meter.

Bagi tujuan pengkelas dan mendapatkan kelajuan, ketepatan yang baik diperolehi apabila ketiga-tiga warna digunakan secara serentak. Penggunaan satu-satu warna secara berasingan tidak mendatangkan hasil

dalam ketepatan yang munasabah. Disebabkan bilangan piksel-piksel yang tinggi perlu diproses, kadar tangkapan gambar telah menurun kepada 6 kerangka sesaat sahaja.

KAEDAH PENGESAHAN KEJADIAN

Apabila berlaku kejadian sama ada disebabkan kecelakaan atau kerosakan kenderaan, satu atau lebih kenderaan akan diam atau tidak bergerak. Perkara ini akan menyebabkan kesesakan jika berlaku ketika pengaliran lalu lintas tinggi. Jika kejadian berlaku di persimpangan yang sibuk, kesesakan akan merebak ke jalan-jalan lain. Oleh itu, ia perlu dikesan secepat mungkin supaya tindakan yang sesuai dapat segera dilakukan.

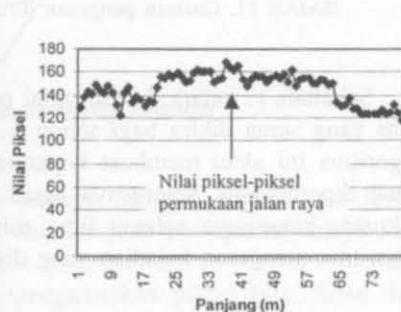
Dalam penyelidikan ini kejadian dikesan dengan memerhatikan piksel-piksel di atas satu garisan lurus yang selari dengan pengaliran lalu lintas yang diletakkan di tengah-tengah lorong laluan. Nilai keamatan piksel-piksel yang seragam menunjukkan permukaan jalan raya yang bermakna tiada kenderaan. Sebaliknya pula jika nilai piksel-piksel jauh berbeza-beza antara satu sama lain, menunjukkan kewujudan objek-objek yang berlainan warna.

Nilai-nilai piksel ini digunakan dalam algoritma ini untuk menentukan sama ada dalam satu-satu lorong dalam imej terdapat kenderaan atau tidak. Kehadiran kenderaan akan memberikan nilai piksel-piksel akan memberikan nilai sisihan piawai, σ , yang tinggi. Oleh itu keputusan dibuat bahawa atas permukaan suatu lorong jalan raya terdapat kenderaan bila sisihan piawai melebihi 30% daripada nilai purata, μ , piksel-piksel. Rajah 9 an 10 menunjukkan nilai piksel-piksel di sepanjang garisan yang dijadikan pengesan ketika permukaan jalan raya tidak diliputi oleh kenderaan dan ketika diliputi oleh kenderaan.

Jika jalan raya diliputi oleh kenderaan, algoritma ini pergi kepada langkah kedua yang membandingkan nilai piksel-piksel dari dua kerangka berjarak 5 saat antara satu sama lain. Perbandingan ini dilakukan ke atas ruas demi ruas jalan raya yang penjang setiap ruas adalah 20 piksel seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 11.

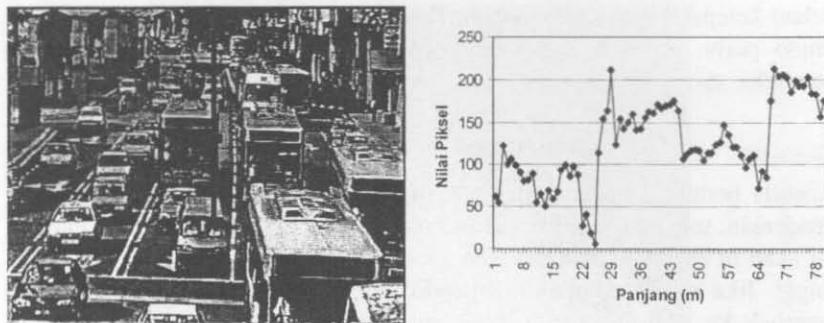


(a) Garisan Pengesan di Tengah Lorong Lalu Lintas



(b) Nilai Piksel-piksel di Sepanjang Garuisan Pengesan

RAJAH 9. Garisan pengesan dan nilai piksel-piksel bila permukaan jalan raya tidak diliputi oleh kenderaan



(a) Garisan Pengesan di Tengah Lorong Lalu Lintas

(b) Nilai Piksel-piksel di Sepanjang Garisan Pengesan

RAJAH 10. Garisan pengesan dan nilai piksel-piksel apabila terdapat kenderaan di permukaan jalan raya



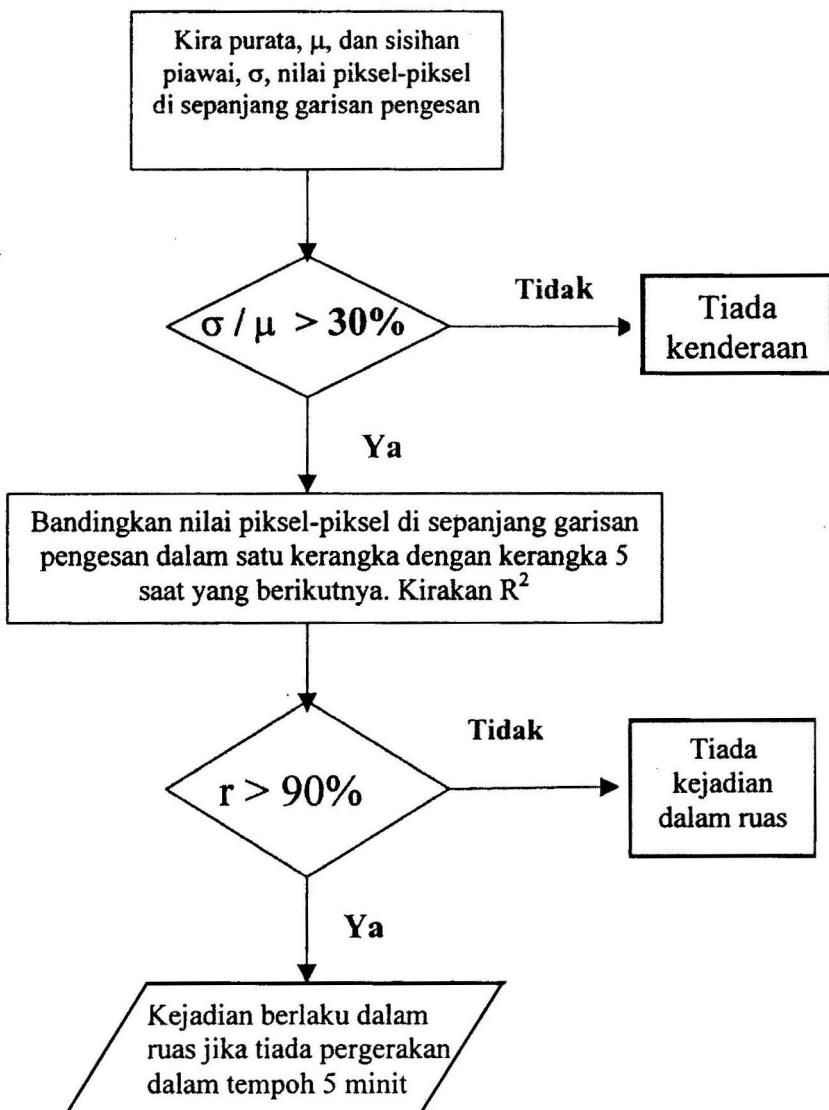
RAJAH 11. Garisan pengesan diruas-rua untuk mengesan kejadian

Sekaitan, r , antara dua set nilai piksel-piksel dari dua kerangka dalam ruas yang sama dikira bagi setiap 5 saat. Jika sekaitan, r , melebihi 90% algoritma ini akan membuat keputusan benderaan tidak bergerak di ruas yang diperhatikan. Seterusnya kejadian ditakrifkan jika tiada pergerakan sekurang-kurangnya selama lima minit. Rajah 12 menunjukkan kaedah algoritma mengesan kejadian yang digunakan.

HASIL KAJIAN

KIRAAN ISI PADU

Kajian telah dilakukan di Jalan Raja Laut, Kuala Lumpur berhampiran dengan stesyen LRT. Lokasi ini dipilih kerana adanya jejantas untuk meletakkan kamera dan juga pengaliran kenderaan yang tidak pernah putus dan jarak antara satu kenderaan lain adalah sangat rapat. Perisian yang telah



RAJAH 12. Algoritma mengesan kajadian

ditulis dalam pemerosesan imej ini, mampu mengira isipadu lalu lintas dalam banyak lorong serentak tetapi untuk tujuan pemaparan, hanya satu lorong sahaja yang ditunjukkan.

Hasil kiraan kenderaan dengan menggunakan piksel biru, hijau dan merah serta perbandingannya dengan kiraan insani pada sela 1 minit ditunjukkan dalam Jadual 1. Sekaitan (R^2) dan analisis regressi ddigunakan untuk membandingkan kiraan dengan menggunakan piksel biru, hijau dan merah dengan kiraan insani. Hasil perbandingan itu diberikan dalam Jadual 2.

Jadual 2 (a) dan (b) memberikan kiraan menggunakan piksel hijau mempunyai sekaitan yang paling tinggi dan ralat yang paling rendah jika dibandingkan dengan kiraan secara insani sama ada pada waktu siang atau

JADUAL 1. Kiraan isi padu kenderaan

a) Kiraan pada waktu siang

Kiraan Kenderaan pada sela 1 minit			
Insani	Piksel Biru	Piksel Hijau	Piksel Merah
14	14	15	15
10	12	11	15
13	12	14	14
9	9	10	9
5	6	4	6
14	15	15	15
2	2	2	1
10	10	10	12
8	9	8	8
9	9	9	11
11	10	11	10
7	6	6	7

b) Kiraan pada waktu malam

Kiraan Kenderaan pada sela 1 minit			
Insani	Piksel Biru	Piksel Hijau	Piksel Merah
7	10	8	6
8	11	7	6
5	5	3	2
6	8	5	5
9	8	5	5
8	11	8	5
9	17	10	8
1	2	0	0
4	10	5	3
3	4	3	2
3	4	2	1
3	6	3	3

malam. Kiraan menggunakan piksel merah pula memberikan perbandingan yang kurang tepat pada waktu siang manakala piksel warna biru memberikan kiraan yang paling kurang tepat pada waktu malam. Jika dibandingkan kiraan pada waktu siang dengan malam, kiraan pada waktu siang jauh lebih baik dari bacaan pada waktu malam. Sebab utamanya ialah lampu tinggi kenderaan kadang-kadang menyababkan kamera auto-fokus menjadi tidak fokus.

PENGKELASAN

Kajian ini dijalankan di lebuh raya di mana kenderaan bergerak laju. Ini menyebabkan perisian yang ditulis mesti cekap, cepat dan tepat. Lokasi yang

JADUAL 2. Perbandingan kiraan komputer dengan kiraan insani

a) Kiraan pada waktu siang

Kiraan dengan menggunakan perubahan nilai piksel			
	Piksel Biru	Piksel Hijau	Piksel Merah
R ²	0.9325	0.9729	0.8708
Ralat	0.9431	0.6781	1.5567
Regresi	Y = 1.0135	Y = 1.0405 X	Y = 1.1020

Note: Pemalar-pemalar persamaan regresi tiada kerana semuanya tidak bermakna dari segi statistik

b) Kiraan pada waktu malam

Kiraan dengan menggunakan peribahan nilai piksel			
	Piksel Biru	Piksel Hijau	Piksel Merah
R ²	0.8171	0.8997	0.8107
Ralat	1.9170	0.9934	1.0302
Regresi	Y = 1.5360 X	Y = 0.9820 X	Y = 0.7140 X

Note: Pemalar-pemalar persamaan regresi tiada kerana semuanya tidak bermakna dari segi statistik

dipilih adalah Lebuh Raya Kuala Lumpur-Seremban berhampiran dengan Kolej IKRAM. Kamera telah ditempatkan di atas jambatan yang menyeberangi lebuh raya berkenaan. Hasil bacaan dan perbandingan dengan kiraan insani ditunjukkan dalam Jadual 3.

Pengiraan kenderaan kelas 1 menunjukkan pengiraan secara insani sentiasa melebihi pengiraan oleh komputer, manakala pengiraan kenderaan kelas 2 dan 3 menunjukkan tiada perbezaan. Di samping kemungkinan ralat manusia ketika mengira kenderaan kelas 1 yang banyak berbanding dengan kelas 2 dan 3, dari pemerhatian pada layar komputer, terdapat beberapa kenderaan yang tidak dapat dikesan oleh komputer. Kenderaan-kenderaan ini biasanya bergerak melebihi 110 km/jam. Pada kelajuan ini kenderaan akan bergerak sejauh lebih kurang 5 meter dalam tempoh antara dua kerangka imej, iaitu 1/6 saat. Oleh kerana panjang kereta biasa antara 4 hingga 4.8 meter, maka ia boleh terlepas dari garisan pengesan. Perkara ini tidak akan berlaku bagi kenderaan kelas 2 dan 3 yang panjangnya melebihi 6 meter dan bergerak lebih perlakan.

Walaupun terdapat perbezaan dalam kiraan insani dengan kiraan komputer bagi kenderaan kelas 1, secara statistik, kedua-dua kiraan menunjukkan sekaitan yang tinggi ($R^2=0.95795$) seperti dalam Jadual 4.

KELAJUAN

Perbandingan kelajuan yang dikira oleh komputer dengan kelajuan sebenar tidak dilakukan. Walau bagaimanapun semakan secara fizikal telah dilakukan

JADUAL 3. Kiraan pengelasan kenderaan pada sela 5 minit

Kenderaan Kelas 1 (Panjang < 6 m)		Kenderaan Kelas 2 (6 ≤ Panjang ≥ 10 m)		Kenderaan Kelas 3 (Panjang > 10m)	
Kiraan komputer	Kiraan insani	Kiraan komputer	Kiraan insani	Kiraan komputer	Kiraan insani
84	85	6	6	5	5
90	91	4	4	3	3
93	95	1	1	3	3
80	82	5	5	5	5
82	83	4	4	7	7
71	73	6	6	10	10
74	75	3	3	7	7
81	85	4	4	8	8
71	73	4	4	5	5
78	79	6	6	9	9
80	83	2	2	7	7
70	77	2	2	9	9
71	75	5	5	8	8
66	68	7	7	9	9

JADUAL 4. Perbandingan kiraan komputer dengan insani bagi kenderaan kelas 1

R ²	0.95795
Ralat Piawai	1.692543
Regressi	Y = 1.0467 X - 6.0437

Nota: Y = Kiraan komputer

X = Kiraan insani

dengan memandu kereta di lebuh raya melalui kawasan kajian sebanyak lima kali. Didapati hampir semua kenderaan bergerak pada kelajuan melebihi 100 km/jam walaupun had laju hanya 90km/jam. Akan tetapi apabila menghampiri jambatan di mana kemera ditempatkan, sebahagian besar pemandu memperlahangkan kenderaan kepada kelajuan sedikit di bawah 100km/jam. Kemungkinan besar sebabnya ialah pemandu menyangka kamera yang dipasang adalah kamera pengesan kelajuan milik polis trafik. Dalam kajian ini purata kelajuan pada tiap-tiap sela lima minit yang diperolehi secara pemerosesan imej berada di antara 88 km/jam dengan 100 km/jam seperti yang diberikan dalam Jadual 5.

MENGESAN KEJADIAN

Kajian mengesan kejadian telah dilakukan dengan melakukan pentakrifkan jika terdapat kenderaan yang tidak bergerak di jalan laluan selama sekurang-kurangnya lima minit. Masa ini telah ditakrifkan semula kepada 1.5 minit sahaja kerana kesukaran untuk mendapatkan kenderaan yang tidak bergerak di jalan laluan melebihi lima minit. Perbandingan pengesan secara insani dengan hasil pengesanan oleh komputer ditunjukkan dalam Jadual 6.

JADUAL 5. Purata kelajuan pada sela 5 minit

Kenderaan Kelas 1 (Panjang < 6 m)	Kenderaan Kelas 2 (6 ≤ Panjang ≥ 10m)	Kenderaan Kelas 3 (Panjang > 10 m)	Kelajuan Purata Keseluruhan (km/j)			
Bilangan kenderaan	Purata kelajuan	Bilangan kenderaan	Purata kelajuan	Bilangan kenderaan	Purata kelajuan	
84	101	6	100	5	90	100
90	99	4	93	3	90	98
93	99	1	90	3	89	99
80	101	5	94	5	91	100
82	99	4	93	7	91	98
71	101	6	92	10	88	99
74	101	3	92	7	91	100
81	95	4	90	8	83	94
71	97	4	91	5	87	96
78	94	6	92	9	89	93
80	95	3	90	7	88	94
87	95	2	90	7	88	94
70	96	2	92	9	87	95
71	95	5	89	8	91	94
66	94	7	92	9	89	93

JADUAL 6. Pengesahan kejadian oleh insani dan komputer

Masa	Kejadian dikesan oleh insani	Kejadian dikesan oleh komputer
Pagi	21	21
Petang	23	23
Malam	5	5

Jika dianggap pengesan kejadian oleh insani adalah betul, hasil pengesahan yang diberikan dalam Jadual 5 menunjukkan pengesahan kejadian oleh komputer semasa kajian ddijalankan tidak pernah gagal mengesan kejadian dan tidak pernah memberikan *false alarm*.

PERBINCANGAN

Algoritma yang digunakan dalam mengira isi padu lalu lintas hanya berkisar dalam mengesan perubahan nilai keamatian piksel. Algoritma ini boleh dikatakan mudah dan boleh dilakukan hanya dengan memerhatikan piksel bagi satu-satu warna sahaja. Bagi pengiraan isi padu lalu lintas dalam lima lorong secara serentak tetapi berasingan oleh satu kamera, algoritma ini boleh diselesaikan dalam tempoh 1/10 saat sahaja. Kiraan yang diperolehi terutamanya yang menggunakan piksel warna hijau boleh dikatakan tepat dengan ralat yang kecil.

Punca ralat yang diperhatikan ialah:

1. Ada kereta yang menukar lorong di kawasan piksel yang dijadikan pengesan sehingga ia tidak dikira atau dikira dalam dua lorong.
2. Ada kereta yang mempunyai komponen satu-satu warna hampir-hampir sama dengan piksel warna yang serupa di permukaan jalan raya.
3. Oleh kerana algoritma hanya mengesan perubahan nilai keamatan piksel, apabila orang menyeberang jalan mengenai piksel yang dijadikan pengesan, ia juga dikira sebagai satu kenderaan.
4. Perubahan nilai keamatan nilai piksel yang tiba-tiba di permukaan jalan raya disebabkan oleh lindungan awan. Bayang kenderaan berat akibat matahari yang terik pada petang juga boleh menyebabkan ralat.
5. Adanya kenderaan yang mengikuti kenderaan lain dengan sangat rapat sehingga permukaan jalan antara kedua-dua kenderaan tidak dapat dilihat dari kedudukan kamera yang mengakibatkan dua kereta dikira sebagai satu.

Algoritma yang digunakan dalam pengelasan dan mendapatkan kelajuan adalah lebih rumit dan panjang. Ia melibatkan pemerhatian piksel yang jauh lebih banyak dan pengiraan serta logik yang lebih rumit. Kaca depan bas yang besar dan berwarna seakan-akan permukaan jalan raya perlu diambil kira. Selain dari itu, bayang-bayang awan atau kenderaan besar juga perlu diambil kira untuk mendapatkan kelajuan dan panjang satu-satu kenderaan. Nilai keamatan ketiga-tiga warna, iaitu merah, hijau dan biru juga perlu digunakan untuk mengesan bahagian depan dan belakang kenderaan dengan tepat. Sehubungan dengan ini keamatan piksel latar belakang juga perlu didapatkan dari masa ke semasa untuk mengurangkan kesan bayang dan cuaca. Algoritma sebegini hanya dapat disiapkan dalam tempoh 1/6 saat. Perkara ini menyebabkan sebuah kereta yang bergerak melebihi 110km/jam berkemungkinan tidak dapat dikesankerana dalam tempoh tersebut ia telah bergerak sejauh lebih kurang 5 meter, iaitu lebih panjang dari badannya.

Algoritma pengesan kejadian pula memerhatikan piksel yang lebih banyak, iaitu piksel-piksel yang berada di sebuah garisan panjang di tengah-tengah lorong laluan. Walau bagaimanapun jumlah piksel yang diperhatikan jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan IMPACT. Ini menyebabkan algoritma yang dicadangkan mampu dijalankan bersama-sama algoritma pengira kenderaan, pengelasan kenderaan dan mendapatkan kelajuan kenderaan secara serentak oleh sebuah komputer peribadi yang berasaskan Windows98.

Kedudukan dan sudut tunduk kamera juga sangat penting. Kamera yang rendah dan sudut tunduk yang kecil boleh menyebabkan satu-satu kenderaan melindungi kenderaan di belakangnya yang menyebabkan kedua-duanya dikira sebagai sebuah kenderaan yang panjang. Pantulan cahaya matahari dari kaca kereta juga mudah mengesani kamera yang bersudut tunduk kecil. Dalam kajian ini ketinggian kamera lebih kurang 10 meter dari permukaan jalan dengan sudut tunduk lebih kurang 35 didapati memadai.

KESIMPULAN

Algoritma untuk mendapat isi padu lalu lintas adalah mudah dan tidak memerlukan banyak pengiraan sehingga satu kamera boleh mendapatkan data dari banyak lorong secara berasingan dan serentak. Oleh itu ia boleh digunakan sebagai alat pemantau lalu lintas, mendapatkan data dan sebagai pengesan untuk lampu isyarat.

Warna piksel hijau pula telah didapati dapat mengesan kenderaan dengan lebih tepat pada waktu siang dan malam. Walau bagaimanapun jika kelajuan memproses oleh komputer untuk mengizinkan, penggunaan ketiga-tiga warna akan menghasilkan ketepatan yang lebih tinggi.

Algoritma untuk mengelaskan dan mendapatkan kelajuan kenderaan dapat mengira isi padu lalu lintas mengikut kelas di samping kelajuan kenderaan dengan baik. Akan tetapi algoritma ini agak rumit dan hanya dapat disiapkan dalam tempoh 1/6 saat. Ini menyebabkan kereta yang bergerak melebihi 110km/jam mungkin tidak dapat dikesan. Oleh itu algoritma ini hanya boleh digunakan pada jalan raya yang kenderaan bergerak tidak melebihi 110km/jam. Walau bagaimanapun jika komputer yang berkelajuan lebih tinggi dari 400 MHz, algoritma ini dapat disiapkan dalam kadar yang lebih cepat lagi.

Algoritma pengesan kejadian juga dapat mengesan kejadian dengan baik. Ketika kajian dilakukan, tiada kejadian yang tidak dapat dikesan dan juga tiada *false alarm*. Algoritma ini juga tidak memberikan beban yang berat kepada komputer sehingga ia boleh dijalankan serentak bersama algoritma-algoritma mengira, pengelasan dan mendapatkan kelajuan kenderaan.

Keempat-empat yang dicadangkan dalam penyelidikan ini, iaitu mengira, pengelasan, mendapatkan kelajuan dan mengesan kejadian dapat dijalankan secara serentak oleh sebuah komputer berdasarkan Windows98. Bahkan keempat-empat algoritma ini, boleh dijalankan ke atas empat lorong dengan serentak dan ini membolehkan sebuah kamera boleh digunakan untuk memantau satu kawasan yang luas.

Kedudukan dan sudut tunduk kamera juga sangat penting. Kamera yang rendah dan bersudut tunduk yang kecil boleh dikesani oleh pantulan cahaya matahari dan kaca kereta dan boleh juga menyebabkan kamera kerdedudukan seperti ini tidak fokus. Bagi mengelakkan kesan lindungan, kedudukan kamera yang terbaik ialah tegak menghadap ke bawah dan dipasang jauh lebih tinggi dari bumbung kenderaan supaya beberapa kenderaan dapat dilihat dalam satu-satu lorong.

PENGHARGAAN

Penghargaan yang tidak terhingga diberikan kepada Kementerian Sains, Teknologi dan Alam Sekitar yang telah membiayai kajian ini dan juruteknik-juruteknik Jabatan Kejuruteraan Awam dan Struktur, UKM yang banyak menolong keika kajian dijalankan.

RUJUKAN

- Abramezuk, T. 1982, A TV-detection for monitoring traffic flow, *Final report on feasibility studies, Royal Institute of technology*, Stockholm: TRITA-ILA, 82.01.
- Cyper L., Kolacny G. & Poncelet J.M. 1990. CCATS: the image processing-based traffic sensor. *Traffic Engineering and Control* 31(6): 371-375.
- Dickinson K.W. & Waterfall, R.C. 1984. Image processing and applied to traffic. *Traffic Engineering and Control* 25(1): 6-13.
- Hoose, N. 1992. IMPACTS: An image analysis tool for motorway surveillance. *Traffic Engineering and Control* 33(3): 140-147.
- Hoose, N, Vicencio M.A. & Zhang X. 1992. Incident detection in urban roads using computer image processing. *Traffic Engineering and Control* 33(4): 236-244.
- Houkes, A. 1980. Measurement of speed and time headway of motor vehicles with video camera and computer. *Proc. Int. conf. On Digital Computer Application to Process Control*, Dusseldorf, October: 231-237.
- Microsor Developer Network. 1998. http://msdn.microsoft.com/library/teachart/msdn_dibs2.htm
- Onoe, M., Nobuo & Ohba, K. 1973. Computer analysis of traffic flow observed by subtractive television. *Computer Graphics and Image Processing* 2: 377-392.
- Roarke A. & Bell M.G.H. 1991. Queue detection and congestion monitoring using image processing. *Traffic Engineering & Control* 32(9): 412-421.
- Video Detection & Surveillance, Inc. 1998. <http://videodetection.com/vip9.htm>.
- Waterfall R.C. & Dickinson K.W. 1984. Image processing applied to traffic: practical experience. *Traffic Engineering and Control* 25(2): 60-67.

Riza Atiq bin O.K. Rahmat,
Profesor Madya
Jabatan Kejuruteraan Awam dan Struktur
Fakulti Kejuruteraan
Universiti Kebangsaan Malaysia

Kasmiran bin Jumari
Profesor Madya
Jabatan Kejuruteraan Elektrik
Elektronik dan Sistem
Fakulti Kejuruteraan
Universiti Kebangsaan Malaysia

Azmi Hassan
Pensyarah
Jabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan
Fakulti Kejuruteraan
Universiti Kebangsaan Malaysia

Hassan Basri
Profesor
Jabatan Kejuruteraan Awam dan Struktur
Fakulti Kejuruteraan
Universiti Kebangsaan Malaysia